



[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung des Vakuums in einer Kammer, insbesondere zur Regelung des Vakuumdruckes in einer Vakuumkammer, in der Prozessabläufe durchgeführt werden, wie beispielsweise Aufdampfprozesse, Ätzprozesse in der Halbleitertechnik und ähnliches.

[0002] Zur Erzeugung eines Vakuums in einer Kammer wird üblicherweise eine mehrstufige Pumpvorrichtung eingesetzt, bei der häufig die erste Pumpe eine Turbomolekularpumpe ist und die nachgeordneten Pumpen als Roots-Pumpe und/oder Vorpumpen ausgebildet sind. Eine derartige Pumpvorrichtung ist in WO 99/04325 beschrieben. Bei dieser Pumpvorrichtung wird der in der Kammer herrschende Druck gemessen und durch einen Regler auf einem Sollwert konstantgehalten, welcher auf den Druck auf der Vorkammerseite der mit der Kammer verbundenen ersten Vakuumpumpe einwirkt. Die Druckregelung erfolgt in der Weise, dass bei einem Abweichen des Drucks in der Kammer von einem Sollwert der Vorkammerdruck derart verändert wird, dass der Druck in der Kammer seinen Sollwert einnimmt.

[0003] Eine Schwierigkeit bei der Druckregelung in Vakuumkammern besteht darin, dass das Saugvermögen z. B. einer Reibungsvakuumpumpe vom Gasfluss und von der Gasart abhängig ist und dass diese Abhängigkeit die Druckregelung beeinflusst. So besteht z. B. für eine Reibungsvakuumpumpe, wie in der WO 99/04325 beschrieben, eine starke Abhängigkeit des Saugvermögens vom anliegenden Vorkammerdruck, im Vorkammerdruck-Bereich von 2–4 mbar für  $N_2$ . In diesem Druckbereich ist also eine Regelung in einfacher Weise möglich. Anders ist dies jedoch im Bereich unterhalb von etwa 2 mbar. Hierbei verläuft die Kurve, die den Kammerdruck auf der Ordinate als Funktion des Vorkammerdrucks auf der Abszisse wiedergibt, nahezu horizontal. Bei schweren Gasen, wie beispielsweise  $SF_6$  ist der horizontale Verlauf dieser Kurve noch ausgeprägter, so dass hier eine Druckregelung außerordentlich schwierig ist. Das Problem besteht in den stark unterschiedlichen Steigungen, nicht im absoluten Wert.

[0004] WO 99/04325 beschreibt ein Verfahren zur Regelung des Vakuums in einer Kammer unter Benutzung eines Reglers, der als PID-Regler ausgebildet sein kann und bei dem die Regelparameter in Abhängigkeit von dem jeweils vorgegebenen Sollwert verändert werden. Der Regelparameter besteht aus dem bzw. den Koeffizienten der PID-Regelung, insbesondere dem Proportional-Koeffizienten und dem Integral-Koeffizienten. Diese Regelparameter können entsprechend der Art des zu pumpenden Gases verändert werden. Dadurch ist es möglich, in einem sehr weiten Druckbereich eine akzeptable Druckregelung vorzunehmen.

[0005] EP 0 857 876 A2 und EP 0 898 083 A2 beschreiben jeweils Regelverfahren zur Regelung des Drucks einer Vakuumkammer, wobei über ein Regelventil die erste Pumpe der Pumpengruppe überbrückt ist und das Regelventil von dem Kammerdruck gesteuert ist. Damit ist das Problem, das mit der Regelung eines extrem großen Druckbereichs verbunden ist, und das Problem, das sich durch die flache Kurve des Hochvakuumdrucks in Abhängigkeit vom Vorkammerdruck ergibt, noch nicht gelöst.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Regelung des Vakuums in einer Kammer anzugeben, mit denen eine schnelle und präzise Regelung des Kammerdrucks möglich ist.

[0007] Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß bei dem Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und bei der Vorrichtung mit den Merkmalen des

Patentanspruchs 7. Nach der Erfindung erfolgt die Regelung des Kammerdrucks mit unterschiedlichen Regelparametern, wobei der jeweils aktuelle Regelparameter in Abhängigkeit von dem in der Kammer herrschenden Istdruck bestimmt wird. Es hat sich herausgestellt, dass zur Bestimmung des Regelparameters der in der Kammer herrschende Istdruck besser verwendbar ist als der jeweilige Sollwert. Die Bestimmung des Regelparameters anhand des Istdrucks hat den Vorteil, dass eine schnelle Ausregelung erfolgt und Überschwängen weitgehend vermieden wird.

[0008] Grundsätzlich erfolgt die Festlegung des Regelparameters anhand des Istdrucks der Kammer, jedoch kann zusätzlich auch der Sollwert Berücksichtigung finden, insbesondere in Situationen, in denen der Istdruck im unteren Teil des für die Druckregelung relevanten Druckbereichs liegt bzw. im horizontalen Teil der Kurve, die die Abhängigkeit des Kammerdrucks vom Vorkammerdruck für das jeweilige Gas angibt. Wenn der Istdruck in diesem unteren Teil liegt, sollte es für die Wahl des Regelparameters bedeutsam sein, ob der Sollwert mehr oder weniger weit über dem Istwert liegt. Wenn die Regelung diesen extrem niedrigen Druckzustand verlassen hat und der Istdruck in dem Bereich höherer Werte angestiegen ist, kann die Regelung unter Verwendung des ausschließlich vom Istdruck abhängigen Regelparameters weitergeführt werden.

[0009] Ein Parameter, der durch die Regelung verändert wird, kann der Vorkammerdruck zwischen zwei Pumpen der Pumpvorrichtung sein. Die Veränderung des Vorkammerdrucks ist in der Weise möglich, dass die betreffende Saugleitung über ein Regelventil mit einer Druckquelle oder einer Vakuumquelle verbunden wird oder auch mit der Kammer, deren Druck geregelt werden soll. Eine andere Alternative besteht darin, die Laufgeschwindigkeit bzw. die Saugleistung der nachfolgenden Pumpe der Pumpvorrichtung durch den Regler zu verändern.

[0010] Im folgenden wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher erläutert.

[0011] Es zeigen:

[0012] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Kammer, in der ein Vakuum geregelt aufrechterhalten wird, und [0013] Fig. 2 ein Diagramm zur Erläuterung der Auswahl des Regelparameters in Abhängigkeit von dem Kammerdruck.

[0014] Gemäß Fig. 1 ist eine Kammer 10 vorgesehen, die hermetisch abgeschlossen ist und in der ein Vakuum erzeugt werden soll. Die Kammer 10 ist beispielsweise eine Kammer, in der eine Bearbeitung von Werkstücken oder Halbleitern bei einem niedrigen Druck durchgeführt werden soll. Die Kammer 10 weist einen Einlass 11 auf, der an eine Prozessgasquelle PQ angeschlossen ist, durch die mindestens ein Prozessgas der Kammer 10 zugeführt wird.

[0015] An einen Sauganschluss 12 der Kammer 10 ist die Pumpvorrichtung 13 angeschlossen. Diese besteht aus mehreren hintereinander in die Saugleitung 14 geschalteten Pumpen, wobei die erste Pumpe 15 eine Reibungsvakuumpumpe, beispielsweise eine Turbomolekularpumpe ist. Die zweite Pumpe 16 ist hier eine Verdrängerpumpe, z. B. eine Roots-Pumpe. Die dritte Pumpe 17 ist eine Pumpe, die gegen den Atmosphärendruck komprimiert.

[0016] Der Gasdruck in der Kammer 10 ist mit pHv (Hochvakuum) bezeichnet und der Druck hinter der ersten Pumpe 15, die die Hochvakuumpumpe darstellt, ist mit pVv (Vorkammerdruck) bezeichnet.

[0017] In die Saugleitung 14 führt zwischen den Pumpen 15 und 16 eine Zuführleitung 18 hinein, die ein Regelventil 19 enthält und an eine Druckquelle angeschlossen ist, welche z. B. ein Inertgas mit einem definierten Druck liefert.

Durch das Regelventil 19 wird bei diesem Ausführungsbeispiel der Vorvakuumdruck pVv als erster Saugparameter verändert.

[0018] Ein zweiter Saugparameter wird von der Drehzahl oder Frequenz f der Pumpe 16 gebildet. Diese Pumpe wird von einem Spannungs-Frequenz-Umsetzer 20 über einen (nicht dargestellten) Asynchron-Motor angetrieben.

[0019] Das Regelventil 19 und die Pumpe 16 werden von einem Regler 21 gesteuert, wobei die Steuerung in der Weise erfolgt, dass das Öffnen des Ventils 19 zugleich mit einer Verringerung der Frequenz f der Pumpe 16 verbunden ist. Durch beide Maßnahmen wird eine Erhöhung des Vorvakuumdrucks pVv verursacht. Andererseits ist das Schließen des Ventils 19 mit einer Erhöhung der Frequenz f der Pumpe 16 verbunden, was zu einer Verringerung des Vorvakuumdrucks pVv führt. Eine Erhöhung des Vorvakuumdrucks hat eine Erhöhung des Hochvakuumdrucks pHv zur Folge und eine Verringerung des Vorvakuumdrucks hat eine Verringerung des Hochvakuumdrucks zur Folge.

[0020] Der Regler 21 empfängt das Signal eines Drucksensors 22, welcher den Hochvakuumdruck pHv in der Kammer 10 misst. Er empfängt außerdem über eine Leitung 23 einen Sollwert, der manuell oder von einer Steuervorrichtung vorgegeben werden kann. Dieser Sollwert gibt den Solldruck an, der in der Kammer 10 erzeugt und konstantgehalten werden soll.

[0021] Der Regler 21 ist ein PID-Regler, der die Frequenz f(t) der Pumpe 16 nach folgender Formel zeitlich verändert:

$$f(t) = K_p(P(t) - P_s(t)) + K_i \int (P(x) - P_s(x)) dx + K_d(d(P(t) - P_s(t))/dt)$$

[0022] Hierin ist Kp der Proportional-Koeffizient oder Proportional-Verstärkungsfaktor des PID-Reglers, Ki der Integral-Koeffizient und Kd der Ableitungs-Koeffizient, P der Istdruck in der Kammer und Ps der vorgegebene Solldruck. x ist die Integrationsvariable und t die Zeit.

[0023] Die Koeffizienten Kp, Ki und Kd werden in ihrer Gesamtheit als Regelparameter  $K_n$  bezeichnet, wobei n eine laufende Nummer darstellt, die einen bestimmten Regelparameter bezeichnet.

[0024] Der jeweils aktuelle Regelparameter K1 bis K8 wird in Abhängigkeit von dem Hochvakuumdruck pHv bestimmt, der von dem Drucksensor 22 gemessen wird. Die Bestimmung des Parameters erfolgt nach der nachstehend aufgeführten Tabelle 1.

Tabelle 1

Bereich 1:  $0 \text{ mTorr} \leq \text{pHv} \leq 5 \text{ mTorr} \rightarrow K1$

Bereich 2:  $5 \text{ mTorr} < \text{pHv} \leq 10 \text{ mTorr} \rightarrow K2$

Bereich 3:  $10 \text{ mTorr} < \text{pHv} \leq 20 \text{ mTorr} \rightarrow K3$

Bereich 4:  $20 \text{ mTorr} < \text{pHv} \leq 35 \text{ mTorr} \rightarrow K4$

Bereich 5:  $35 \text{ mTorr} < \text{pHv} \leq 50 \text{ mTorr} \rightarrow K5$

Bereich 6:  $50 \text{ mTorr} < \text{pHv} \leq 110 \text{ mTorr} \rightarrow K6$

$(0 \text{ mTorr} \leq \text{pHv} \leq 10 \text{ mTorr}) \& (12 \text{ mTorr} < P_s) \rightarrow K7$

$(0 \text{ mTorr} \leq \text{pHv} \leq 10 \text{ mTorr}) \& (25 \text{ mTorr} < P_s) \rightarrow K8$

[0025] Die Bereiche 1 bis 6 kennzeichnen die Druckbereiche des Hochvakuumdrucks, in denen der Regelparameter ausschließlich vom Hochvakuumdruck abhängig ist.

[0026] Dies ist in dem Diagramm von Fig. 2 verdeutlicht. Dort ist auf der Abszisse der Vorvakuumdruck pVv in mbar aufgezeichnet und längs der Ordinate der Hochvakuumdruck pHv in mTorr. Die Darstellung ist entlang der Ordinate logarithmisch und entlang der Abszisse nichtlinear. Die Kurve 25 gibt für ein bestimmtes Gas (hier: Argon) die Abhängigkeit des Hochvakuumdrucks pHv von dem Vorvakuumdruck pVv wieder. Man erkennt, dass unterhalb eines

Vorvakuumdruckes von 2 mbar die Kurve 25 im wesentlichen horizontal verläuft, d. h. dass in diesem Bereich der Hochvakuumdruck weitgehend unabhängig ist vom Vorvakuumdruck. Oberhalb von 2 mbar steigt dagegen die Kurve 25 stark an. Dieser Bereich kann für eine Druckregelung durch Beeinflussung des Vorvakuumdrucks benutzt werden.

[0027] Die Grenzwerte der Bereiche 1 bis 6 des Hochvakuumdrucks sind 5, 10, 15, 20, 35, 50 und 110 mTorr. Wenn der Solldruck für das Hochvakuum kleiner ist als 12 mTorr, erfolgt die Festsetzung des Regelparameters K allein aufgrund des Hochvakuumdrucks. Ist der Solldruck Ps dagegen größer als 12 mTorr und  $\text{pHv} < 10 \text{ mTorr}$ , geht auch die Sollwerthöhe in die Bestimmung des Regelparameters ein.

[0028] In Fig. 2 ist der Fall dargestellt, dass der Istdruck Pi der vom Drucksensor 22 gemessen wird, 2 mTorr beträgt. Der in der Leitung 23 vorgegebene Solldruck Ps betrage 100 mTorr. Hieraus ergibt sich, dass der Regelparameter K8 wirksam wird, was zur Folge hat, dass der Hochvakuumdruck und der Vorvakuumdruck ansteigen. Sobald der Hochvakuumdruck den Grenzwert 10 mTorr erreicht hat, ist die Bedingung zur Beibehaltung von K8 nicht mehr erfüllt. Folglich wird die Sollwertabhängigkeit beendet und die weitere Regelung auf den Solldruck Ps erfolgt aufeinanderfolgend mit den Regelparametern K3, K4, K5 und K6.

[0029] Die Größe der Regelparameter wird jeweils empirisch bestimmt, indem die Ausregelzeit auf einen Sollwertsprung ermittelt und minimiert wird.

[0030] Abweichend von dem vorstehenden Ausführungsbeispiel ist es auch möglich, den Regelparameter nicht in Schritten zu verändern, sondern kontinuierlich, wobei zwischen den festgelegten Regelparametern eine Interpolation erfolgen kann. Wenn der Regelparameter in Schritten verändert wird, ist in einem Rechner eine Liste der einzelnen Bereiche und der zugehörigen Regelparameter gemäß Tabelle 1 hinterlegt. Aus dieser Liste wird der jeweils aktuelle Regelparameter ausgelesen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung des Vakuums in einer Kammer (10), welche mit einer mehrere Pumpen (15, 16, 17) in Serie enthaltenden Pumpvorrichtung (13) verbunden ist, bei welchem mindestens ein Saugparameter in Abhängigkeit von dem in der Kammer herrschenden Hochvakuumdruck (pHv) und einem vorgegebenen Solldruck (Ps) verändert wird, wobei die Veränderung des Saugparameters unter Verwendung mindestens eines Regelparameters ( $K_n$ ) erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Regelparameter ( $K_n$ ) in Abhängigkeit von dem in der Kammer (10) herrschenden Hochvakuumdruck (pHv) bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Regelparameter ( $K_n$ ) zusätzlich in Abhängigkeit von dem Solldruck (Ps) bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass Bereiche (1-6) des Hochvakuumdrucks (pHv) vorbestimmt werden, in denen der Regelparameter ( $K_n$ ) ausschließlich durch den Hochvakuumdruck (pHv) bestimmt wird, und ein Bereich, in dem der Regelparameter zusätzlich durch den Solldruck (Ps) bestimmt wird, wenn dieser Solldruck einen Schwellwert übersteigt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Saugparameter, der durch die Regelung verändert wird, der Vorvakuumdruck (pVv) zwischen zwei Pumpen (15, 16) der Pumpvorrichtung ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-4, dadurch

gekennzeichnet, dass ein Saugparameter, der durch die Regelung verändert wird, die Drehzahl einer der Pumpen (16) der Pumpvorrichtung (13) ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Regelparameter (K) mit einem Proportional-Koeffizienten ( $K_p$ ) und einem Integral-Koeffizienten ( $K_i$ ) verwendet wird. 5

7. Vorrichtung zur Regelung des Vakuums in einer Kammer (10), welche mit einer mehrere Pumpen (15, 16, 17) in Serie enthaltenden Pumpvorrichtung (13) 10 verbunden ist, mit einem Regler (21), der den Wert des in der Kammer (10) herrschenden Hochvakuumdrucks ( $p_{Hv}$ ) und einen Sollwert empfängt, dadurch gekennzeichnet, dass der Regler (21) mindestens einen Regelparameter ( $K_n$ ) benutzt, der in Abhängigkeit von dem 15 Hochvakuumdruck ( $p_{Hv}$ ) veränderbar ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Regelparameter ( $K_n$ ) ein Regelkoeffizient ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Regler (21) ein mit einer Saugleitung (14) verbundenes Regelventil (19) steuert. 20

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7–9, dadurch gekennzeichnet, dass der Regler (21) die Drehzahl einer der Pumpen (16) der Pumpvorrichtung (13) 25 steuert.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

30

35

40

45

50

55

60

65

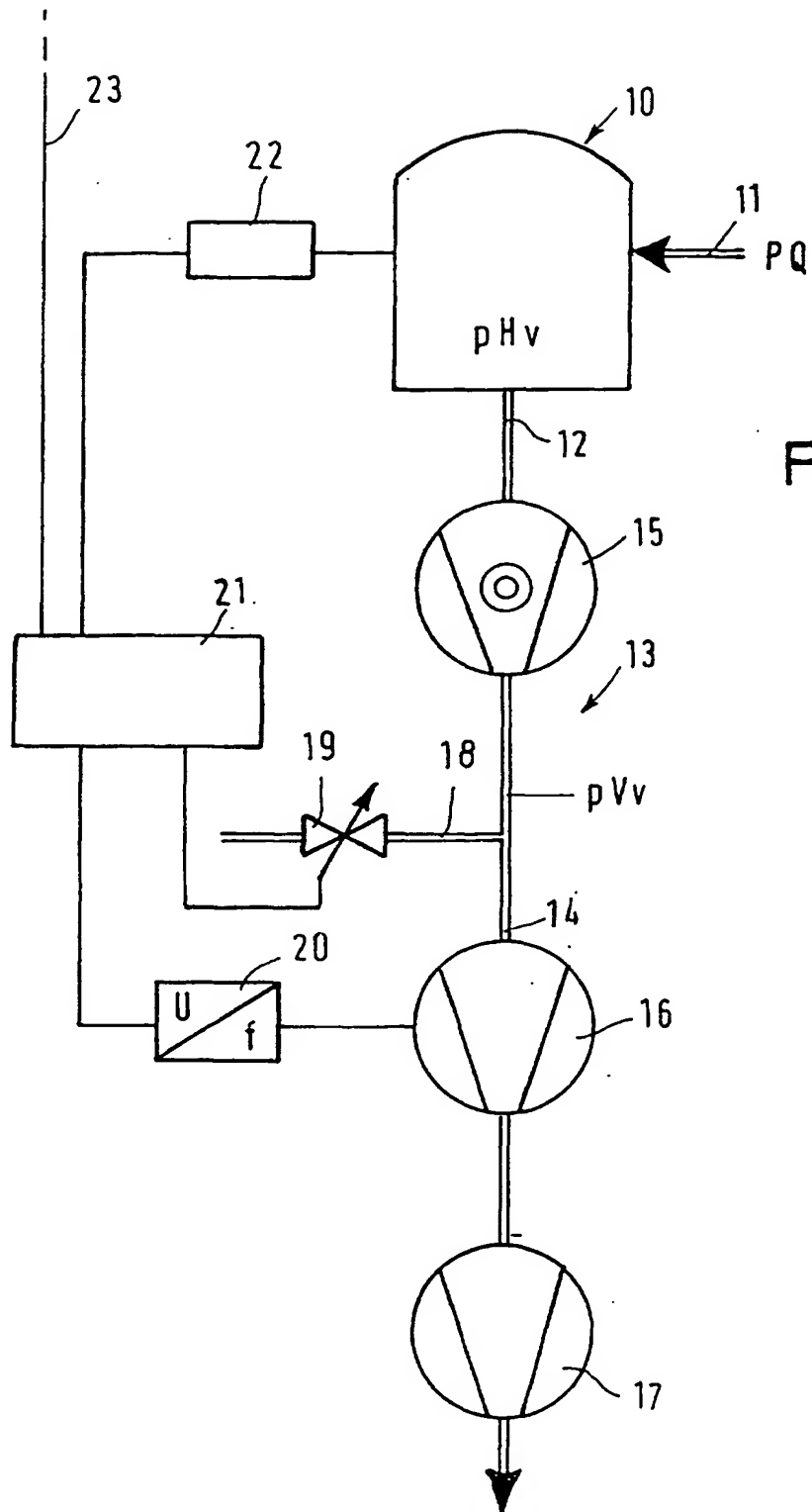


FIG.1

FIG. 2

